

TUTKIMUS IRTOLUMEN JA TALVI-
HÖYLÄYSTASON VAIKUTUKSESTA
AJONEUVON POLTTOAINEEN KULU-
TUKSEEN

ESIRAPORTTI

TIE- JA VESIRAKENNUSLAITOS

OULUN YLIOPISTO

HELSINKI 1980

08 TIE-



81 752

Sisällysluettelo

	Sivu
1. Johdanto	2
2. Tutkimuksen suoritus	2
2.1 Tutkimusmenetelmä	2
2.2 Tutkimuspaikat	5
3. Tutkimustulokset	6
3.1 Talvihöyläystason vaikutus polttoaineen kulutukseen	6
3.2 Irtolumen vaikutus kulutukseen	7
3.3 Irtolumen ja nopeuden vaikutus kulutukseen.	8
3.4 Irtolumen ja ajokertojen vaikutus kulutuk- seen	9
4. Yhteenveto	10
Kuva 1	11
Kuva 2	12
Kuva 3	13
Kuva 4	14
Kuva 5	15

ALKUSANAT

Tämä tutkimus kuuluu osana projektiin, jossa selvitetään teiden hoitotason vaikutusta ajoneuvojen polttoaineen kulutukseen. Tässä tutkimuksessa esitetään v. 1980 talvella suoritettujen tutkimusten tulokset, jotka koskevat talvihoitotason vaikutusta auton polttoaineen kulutukseen.

Tutkimukset suoritettiin Oulun tie- ja vesirakennuspiirissä. Tutkimuksen suorituksesta ovat vastanneet tekn.tri Asko Saarela (puh. joht.), Kp, Kp-pääll. Kyösti Kekkonen, O-piiri, ins. Arto Tevajärvi, Tt, dipl.ins. Jouko Belt, Oulun yliopisto, tekn.yo. Jorma Leskinen, Oulun yliopisto ja ins. Osmo Rahikainen (siht.), O-piiri. Tutkimustulokset on käsitelty Oulun yliopiston tie- ja maarakennustekniikan laitoksella.

Tutkimuksen täydentämiseksi kokeita jatketaan vuoden 1980 syksyllä.

Työryhmän puheenjohtaja Asko Saarela

1. JOHDANTO

"Irtolumen ja talvihöyläystason vaikutus ajoneuvon polttoaineenkulutukseen"-tutkimus tehtiin TVH:n, Oulun piirin sekä Oulun yliopiston tie- ja maarakennustekniikan laitoksen tielaboratorion toimesta kevättalvella 1980. Tutkimus jakautui neljään osatutkimukseen:

1 Talvihöyläystason vaikutus polttoaineenkulutukseen

Tarkoituksena oli selvittää, voidaanko talvihöyläyksellä (ts. polanteiden tasauksella) vaikuttaa auton polttoaineenkulutukseen sekä toisaalta seurata lumi- ja jääpolanteen aiheuttaman epätasaisuuden vaikutusta em. kulutukseen.

2 Irtolumen vaikutus polttoaineenkulutukseen

Tarkoituksena oli selvittää satavan tai tuulen ajoradalle kuljettaman irtolumen vaikutusta auton polttoaineenkulutukseen.

3 Irtolumen ja ajonopeuden vaikutus polttoaineenkulutukseen

Tarkoituksena oli selvittää ajoradalle sataneen irtolumen vaikutusta kulutukseen eri ajonopeuksilla.

4 Irtolumen ja ajokertojen vaikutus kulutukseen

Tarkoituksena oli selvittää liikennemäärän vaikutus auton polttoaineen kulutukseen lumen peittämällä tiellä.

2. TUTKIMUKSEN SUORITUS

2.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusajoneuvona käytettiin TVL:n Oulun piirin Saab 99 GL Super automatic - autoa, johon oli asennettu Pierburg PLU-106 -polttoaineenkulutussmittari. Autolla oli ajettu tutkimuksen alkaessa noin 100 000 km. Tutkimuksen aikana auto huollettiin merkkikorjaamossa normaalia lyhyemmin välein. Autossa oli lähes uudet Nokia NR 08 -talvirenkaat, joissa oli 150 nastaa/rengas.

Tutkimusajot sujuivat siten, että tielle merkitty noin kolmen kilometrin pituinen koeosuus ajettiin vakionopeudella molempiin suuntiin. Polttoaineenkulutus ja käytetty aika mitattiin kummallakin kerralla. Tämän jälkeen siirryttiin seuraavalle koeosuudelle. Kukin koeosuus ajettiin yhden tutkimuskerran aikana käytettävissä olleesta ajasta ja olosuhteista riippuen 3...10 kertaa. Tutkimuksen aikana mitattiin myös tuulen nopeus ja suunta, ilman kosteus ja paine sekä lämpötila noin neljän tunnin välein. Lumitutkimuksissa mitattiin lisäksi lumikerroksen paksuus, tiheys ja lämpötila sekä tutkittiin lumen rakennetta ja tasalaatuisuutta silmävaraisesti.

Tulokset käsiteltiin Oulun yliopiston Univac 1100 -tietokoneella multiregressioanalyysimenetelmällä. Työssä käytettiin Kalifornian yliopistossa kehitettyä BMDP-ohjelmistoa.

Tutkimuksessa pyrittiin noudattamaan seuraavia periaatteita:

Polannetutkimus

Tutkimuksessa oli tarkoitus höylätä koeosuuden polanne tasaiseksi ja seurata polttoaineenkulutuksen muuttumista polanteen kunnon huonontuessa. Polanteen huononnuttua kunnossapitostandardien sallimalle alarajalle se oli tarkoitus höylätä ja ryhtyä jälleen seuraamaan kulutusta. Tutkimusajot ajettiin kolmella nopeudella: 70, 80 ja 90 km/h.

Polanteen kunto määritettiin VTT:n tie- ja liikennelaboratorion yhteenlaskevan sysäysmittarin ja uransyvyysmittarin avulla.

Sysäysmittarissa (TIE 481-menetelmä) on jäykkään runkoon lehtijousin ja iskunvaimentimin kiinnitetty henkilöauton pyörää vastaava pyörä, jonka pystysuorassa suunnassa alaspäin suuntautuvat liikkeet rungon suhteen lasketaan jatkuvasti yhteen. Pystysuorasta liikkeestä ja pyörän

kulkemasta matkasta saadaan lasketuksi epätasaisuusluku e , cm/km.

Uransyvyysmittari koostuu kahdesta runkoon kiinteästi asennetusta pyörästä, näiden väliin asennetusta pystysuorassa suunnassa vapaasti liikkuvasta pyörästä sekä tulostuslaitteistosta. Mitattaessa kulkee keskimmainen pyörä ulomman ajouran pohjalla. Uransyvyys saadaan laitimmaisten kiinteiden pyörien ja keskimmäisen vapaan pyörän korkeusasemien erotuksena.

Irtolumikerrostutkimus

Tutkimus suoritettiin lumisateen kestäessä vähäliikenteisillä tieosilla öiseen aikaan, jolloin koeteillä ei ollut muiden ajoneuvojen jälkiä. Illan viimeisten autojen mentyä koeosuudet aurattiin, jonka jälkeen tielle annettiin kertyä lunta muutaman senttimetrin vahvuiseksi kerrokseksi. Kun lunta oli riittävästi koeosuus ajettiin molempiin suuntiin noin viisi kertaa ja mitattiin lumen paksuus. Tämän jälkeen odotettiin jälleen lumen kertymistä ja ajettiin sitten seuraava koeosuus samalla tavalla.

Irtolumi ja nopeustutkimus

Tutkimus tehtiin lentokoneiden varalaskupaikan reunalueilla. Reunoille kertyneellä lumella ajettiin nopeuksilla 70, 80 ja 90 km/h, kullakin kerralla eri jälkeä. Lumen paksuus ja tiheys mitattiin sekä lumen laatua arvosteltiin silmämääräisesti. Kun lumelle oli tullut niin paljon jälkiä, että koskematonta lunta ei ollut enää riittävästi, siirryttiin tutkimaan ajokertojen vaikutusta kulutukseen.

Irtolumi ja ajokertatutkimus

Tutkimuksessa käytettiin edellisessä kohdassa mainittua varalaskupaikkaa ja sille ajettuja jälkiä. Tiettyä lumeen muodostunutta jälkeä ajettiin nopeudella 80 km/h useita kertoja ja kulutuksen muuttumista seurattiin ajokertojen lukumäärän kasvaessa. Tutkimuksen päätyttyä

koealue aurattiin puhtaaksi. Uuden lumisateen jälkeen tutkimusajot aloitettiin jälleen irtolumen ja nopeuden vaikutuksen tutkimisella.

2.2 Tutkimuspaikat

Talvihöyläystason vaikutusta polttoaineen kulutukseen selviteltiin Oulun tiemestaripiirissä sijaitsevalla maantiellä Mt 833 välillä Korvenkylä - Ylikiiminki. Tiellä oli kolme noin kolmen kilometrin pituista koeosuutta. Kunkin koeosuuden pituus, kaarteisuus, mäkisyys ja päätepisteiden korkeus mitattiin. Koeosuudet pyrittiin valitsemaan siten, että päätepisteiden korkeusero olisi mahdollisimman pieni ja mäkisyys ja kaarteisuus pysyisivät kohtuullisina. Tie on öljysorapintainen ja verrattain hyväkuntoinen.

Irtolumen vaikutusta polttoaineen kulutukseen tutkittiin edellä mainituilla koeosuuksilla, joiden lisäksi Mt 848:lle merkittiin yksi osuus. Tien ulkopuolisen alueen peitteisyys arvioitiin koeosuuksien kohdalla, koska sen oletettiin vaikuttavan lumen kertymiseen. Koeosuudet pyrittiin valitsemaan siten, että peitteisyys olisi mahdollisimman suuri, koska tällöin tuuli ei kasaisi lunta haitallisessa määrin, vaan lumikerros olisi tasainen koko koeosuudella.

Irtolumen ja nopeuden vaikutusta polttoaineen kulutukseen tutkittiin Mt 822:lla Järvitalonjärven kohdalla sijaitsevalla lentokoneiden varalaskupaikalla. Varalaskupaikka on kestopäällystetty, suora ja lähes tasainen. Tutkimusta varten erotettiin 2138 m:n pituinen koeosuus. Tutkimuksen aikana koeosuuden kohdalla aurattiin vain liikenteen vaatima tila keskelle ja lumen sallittiin kertyä kentän reunoille.

Lumen ja ajokertojen vaikutusta polttoaineen kulutukseen tutkittiin edellä mainitulla Järvitalonjärven varalaskupaikalla.

3. TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Talvihöyläystason vaikutus polttoaineenkulutukseen

Havaintoja kertyi kahden kuukauden aikana 176 kpl. Epätasaisuusluvun vaihteluväli jäi kuitenkin odotettua pienemmäksi, koska kohteiden pintaan muodostui ennen tutkimuksen alkua erittäin kova jääpolanne. Polanne ei kulunut koko tutkimusaikana niin huonoon kuntoon, että höylääminen olisi ollut välttämätöntä, joten tutkimusta ei voitu tehdä alkuperäisen suunnitelman edellyttämällä tavalla. Tutkimus vietiin läpi siten, että polanteen annettiin kulua ilman höyläystä koko tutkimuksen kestoajan lukuunottamatta muutamaa kohtaa, joissa polanteen pintaa höylättiin uransyvytyden pienentämiseksi. Tällöinkin ajouran pohja jäi koskemattomaksi. Tärkeimpien muuttujien vaihteluvälit ja keskiarvot olivat seuraavat:

<u>muuttuja</u>	<u>yksikkö</u>	<u>keskiarvo</u>	<u>min.</u>	<u>max.</u>
epätas.luku	cm/km	187	152	226
uransyvyys	mm	4.5	0.0	9.0
tuulu	m/s	-0.1	-1.4	0.9

(Epätasaisuusluku ja uransyvyys ovat 3 km:n koeosuudella 100 m:n välein mitattujen arvojen keskiarvoja. Yksittäisten arvojen vaihteluväli on suurempi).

Tietokoneella saatiin polttoaineenkulutusta parhaiten selittäviksi muuttujiksi ajonopeus, epätasaisuusluku ja tuulen koeosuuden suuntainen komponentti, joka saa -merkin, jos se on myötäinen ja +merkin, jos se on vastainen. Negatiivisten lukujen välttämiseksi on tuulen nopeuteen lisätty 10. Malli voidaan esittää regressioyhtälön muodossa

$$y = 1.802 + 0.471x_1 + 0.070x_2 + 0.008x_3$$

- y polttoaineenkulutus, l/100 km
 x_1 tuulen tien suuntainen komponentti, m/s + 10
 x_2 ajonopeus, km/h
 x_3 epätasaisuusluku e , cm/km

Mallin selityssaste on 58.2%. Nopeus on paras selittäjä 78%:n osuudella, tuuli on toisena 14%:n osuudella ja huonoimmaksi jää epätasaisuusluku 8%:lla. Kaikkien kolmen muuttujan regressiokertoimet ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä samoin kuin koko malli. 1)

Kuvassa 1 on esitetty epätasaisuusluvun vaikutus polttoaineenkulutukseen sään ollessa tyyni ajonopeuksilla 70, 80 ja 90 km/h. Kuvasta ilmenee, että epätasaisuusluvun arvon kasvaessa 150:stä 230:een kasvoi polttoaineen kulutus noin 8%. Nopeuden kasvaessa 10 km/h kasvoi kulutus noin 7%. Polanteen sulamisen jälkeen ajettiin koeosuudet vielä vertailun vuoksi paljaina samoin talvirenkain varustetulla autolla. Kulutuslukemat olivat 5...8% pienempiä kuin vastaavissa olosuhteissa jääpolanteella saadut lukemat, jolloin $e = 180$ cm/km.

Kuvassa 2 ilmenee kulutuksen riippuvuus nopeudesta. Koeajot on suoritettu Järvitalonjärven varalaskupaikan jääpolanteella. Kulutuksen riippuvuutta nopeudesta voidaan melko tarkasti kuvata suoralla nopeusalueella 70...90 km/h. Noin 5% korkeampi kulutustaso kuvaan 1 verrattuna johtuu varalaskupaikan polanteella olleesta lumipölykerroksesta.

3.2 Irtolumen vaikutus polttoaineenkulutukseen

Kevättalven sää oli tutkimuksen kannalta sangen epäedullinen. Tutkimuksen kannalta sopivia öiseen aikaan sattuvia lumisateita oli koko tutkimusvalmiuden aikana vain yksi. Sateet olivat yleensä hyvin vähäisiä ja satava lumi niin kevyttä, että liikenteen aiheuttamat ilmavirtaukset heittivät sen sivuun.

1) Kuvien taulukoissa on käytetty seuraavia merkintöjä:

xxx erittäin merkitsevä
xx merkitsevä
x melkein merkitsevä

Kuvassa 3 on esitetty kulutuksen riippuvuus lumen paksuudesta. Koska tutkimusajot ajettiin yhden yön aikana, eivät olosuhteet ehtineet muuttua. Tämän vuoksi tulosten laskennassa ei käytetty multiregressioanalyysia. Kulutuksen riippuvuutta lumen paksuudesta kuvaa yhtälö

$$y = 10.328 + 0.078x$$

jossa

y polttoaineenkulutus, l/100 km

x lumen paksuus, mm

Selitysaste on 43.4 %.

Koeolosuhteissa oli polttoaineenkulutus 40 mm:n lumen paksuudella noin 30 % suurempi kuin lumettomalla pinnalla. Havaintojen vähyyden takia tulos ei kuitenkaan ole kovin luotettava koeolosuhteista poikkeavissa oloissa. Tutkimuksen aikana satanut lumi oli kuivaa.

3.3 Irtolumen ja nopeuden vaikutus polttoaineen kulutukseen

Havaintoja kertyi kevättalven aikana noin sata. Osa havainnoista oli kuitenkin sopimattomia käytettäväksi esimerkiksi siitä syystä, että nopeutta ei pystytty pitämään tasaisena lumen liiallisen paksuuden vuoksi. Kelvollisia havaintoja jäi jäljelle 72 kpl.

Tärkeimpien muuttujien keskiarvot olivat seuraavat:

Ajonopeus km/h	70	80	90
lumen paksuus mm	44	34	27
lumen tiheys g/dm ³	115	82	37 (kuiva palleolumi)

Koska tutkimuksen aikana ei satanut lainkaan nuoskaa lunta, jäivät lumen tiheyden arvot melko pieniksi.

Eri ajonopeuksilla saadut tulokset esitetään kuvassa 4 regressioyhtälöiden ja niiden kuvaajien avulla. Kuvasta 4 nähdään, että

- ohuella lumikerroksella ajettaessa polttoaineen kulutus kasvaa jyrkästi ajonopeuden kasvun myötä ja että

- 5 cm:n lumipeite lisää polttoaineen kulutusta
yli 30%

On huomattavaa, että tutkimuksen aikana satoi ainoastaan kuivaa pakkaslunta ja voidaankin olettaa, että normaaleissa olosuhteissa kulutuksen nousu olisi jyrkempää. Myöskin on huomattava, että koeautona olleen Saab 99:n kulutus kasvaa todennäköisesti loivemmin kuin Suomessa käytössä olevien autojen kulutus keskimäärin, koska Saabin moottorin teho ja rengaskoko ovat keskimääräistä suurempia. Ajonopeuksien välinen kulutusero oli hiekan suurempi kuin vastaava ero polanteella.

3.4 Lumen ja ajokertojen vaikutus polttoaineen kulutukseen

Havaintoja kertyi tutkimusaikana 56 kpl. Multiregressioanalyysin avulla saatiin parhaaksi malli, jossa on mukana lumen tiheys sekä ajokertojen lukumäärä logaritmisena. Mallin regressioyhtälö on:

$$y = 12.786 - 2.750 \log(x_1) + 0.026x_2$$

jossa

y polttoaineenkulutus, l/100 km

x_1 ajokertojen lukumäärä

x_2 lumen tiheys, g/dm³

Mallin selitysaste on 56.9%. Kummankin muuttujan osuus siitä on noin 50%.

Kuvassa 5 näkyy ajokertojen vaikutus polttoaineenkulutukseen. Käyrä perustuu havaintoihin välillä 1...12 ajokertaa, siitä eteenpäin se on ekstrapoloitu mallin avulla. Kuvaan on merkitty myös vertailuajona koealueen auratulla keskiosalla saatujen kulutuslukemien keskiarvo 9.96 l/100 km. Käyrä leikkaisi vertailukulutuksen noin 150. ajokerralla. Todellisuudessa kulutus ei kuitenkaan laskene tälle tasolle, vaan pysyy polkeutuvan lumen epätasaisuuden ja joustavuuden johdosta tämän tason yläpuolella. Mikäli koeajot olisi tehty usealla, raideleveydeltään erilaisella autolla, olisi jälki muodostunut leveämmäksi ja kulutus olisi näinollen laskenut loivemmin.

4. YHTEENVETO

1. Talvihöyläystason vaikutus polttoaineenkulutukseen

Epätasaisuusluvun kasvaminen arvosta 150 cm/km arvoon 230 cm/km lisäsi polttoaineen kulutusta 8%. Uransyvyydellä ei ollut tässä tutkimuksessa juuri vaikutusta polttoaineenkulutukseen, koska uransyvyys pysyi lähes vakiona. Lisätutkimus olisi tarpeen, koska polanteen kunnon vaihtelut jäivät tämän tutkimuksen aikana pieniksi.

2. Irtolumen vaikutus polttoaineenkulutukseen

Pakkaslumen paksuuden kasvaminen 5 mm:stä 40 mm:iin lisäsi kulutusta noin 25%. Havaintoja oli kuitenkin vähän, joten tutkimuksen jatkaminen olisi tarpeen luotettavamman ja monipuolisemman kuvan saamiseksi.

3. Irtolumen ja nopeuden vaikutus kulutukseen

Nopeuden kasvaminen irtolumella ajettaessa 10 km/h:lla lisäsi kulutusta noin 10-15% ajonopeudesta riippuen. Nopeuksien väliset kulutuserot olivat suuremmat lumisella kuin paljaalla pinnalla. Lumikerroksen paksuus vaikutti suuresti polttoaineen kulutukseen. (Esimerkiksi 50 mm paksu lumipeite lisäsi polttoaineen kulutusta yli 30%). Koska tutkimusaikana satoi ainoastaan kuivaa lunta, jäi nuoskan lumen vaikutus tutkimatta.

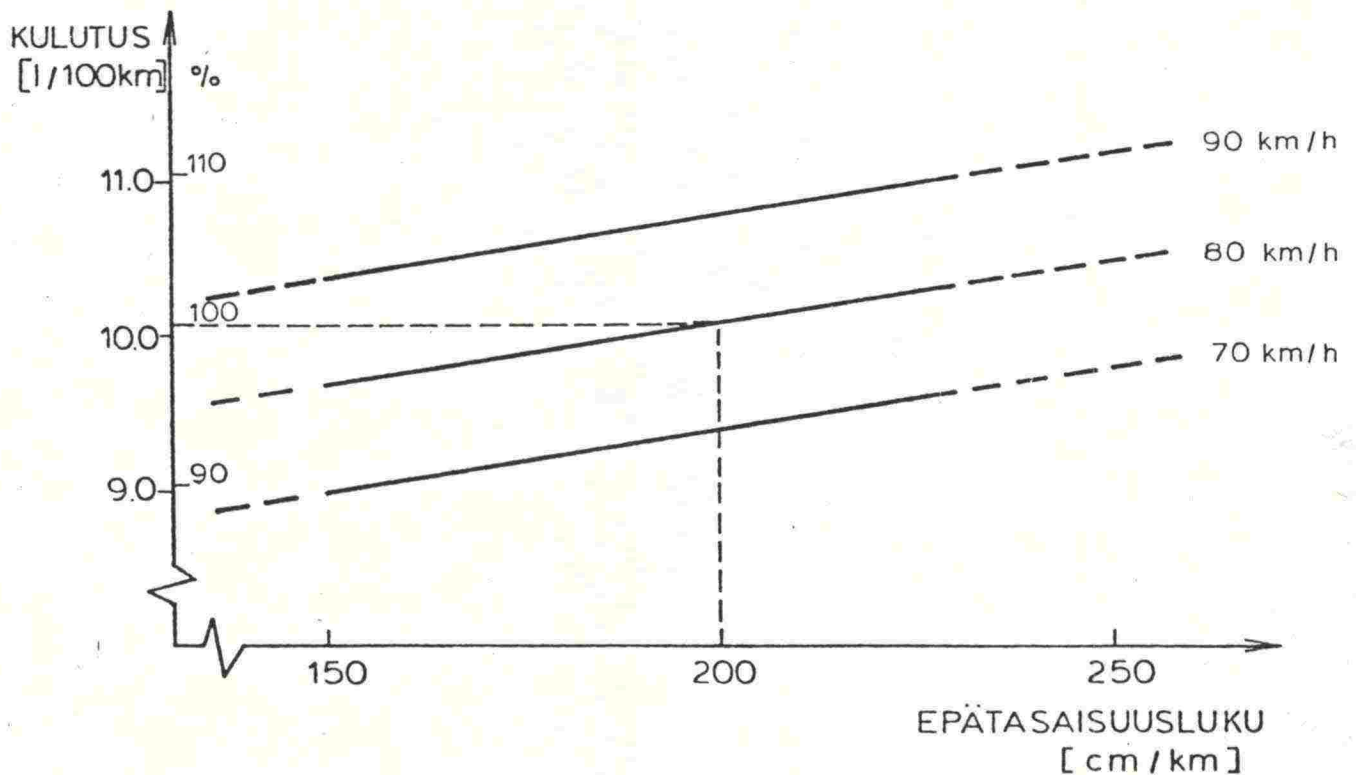
4. Lumen ja ajokertojen vaikutus kulutukseen

Jäljen muodostuminen ajoradalle vähensi aluksi (alle 10 ajon.) selvästi kulutusta. Jäljen vahvistuessa kulutus väheni yhä loivemmin ja vakiintui lopulta tasolle, joka riippuu jäljen pohjan laadusta (polanteen tasaisuudesta).

Kuva 1 Kulutuksen riippuvuus tuulesta, nopeudesta ja jääpolanteen tasaisuudesta

Muuttuja	Yksikö	Regressio kerroin	T-arvo	Standardoitu regr. kerroin	Korrelaatio kerroin	Stand. kerroin x korr. kerroin	Edell. pros. ja-kauma
Polttoaineen-kulutus	$\frac{l}{100km}$						
Tuulen nopeus + 10	$\frac{m}{s}$	0.471	4.69 ^{xxx}	0.251	0.328	0.082	14
Ajonopeus	$\frac{km}{h}$	0.070	13.60 ^{xxx}	0.670	0.674	0.452	78
Epätasaisuus-luku	$\frac{cm}{km}$	0.008	3.30 ^{xxx}	0.176	0.272	0.048	8
Vakiotermi		-1.802			R^2	0.582	100
F-arvo		xxx 79.78		Havaintojen lukumäärä			176

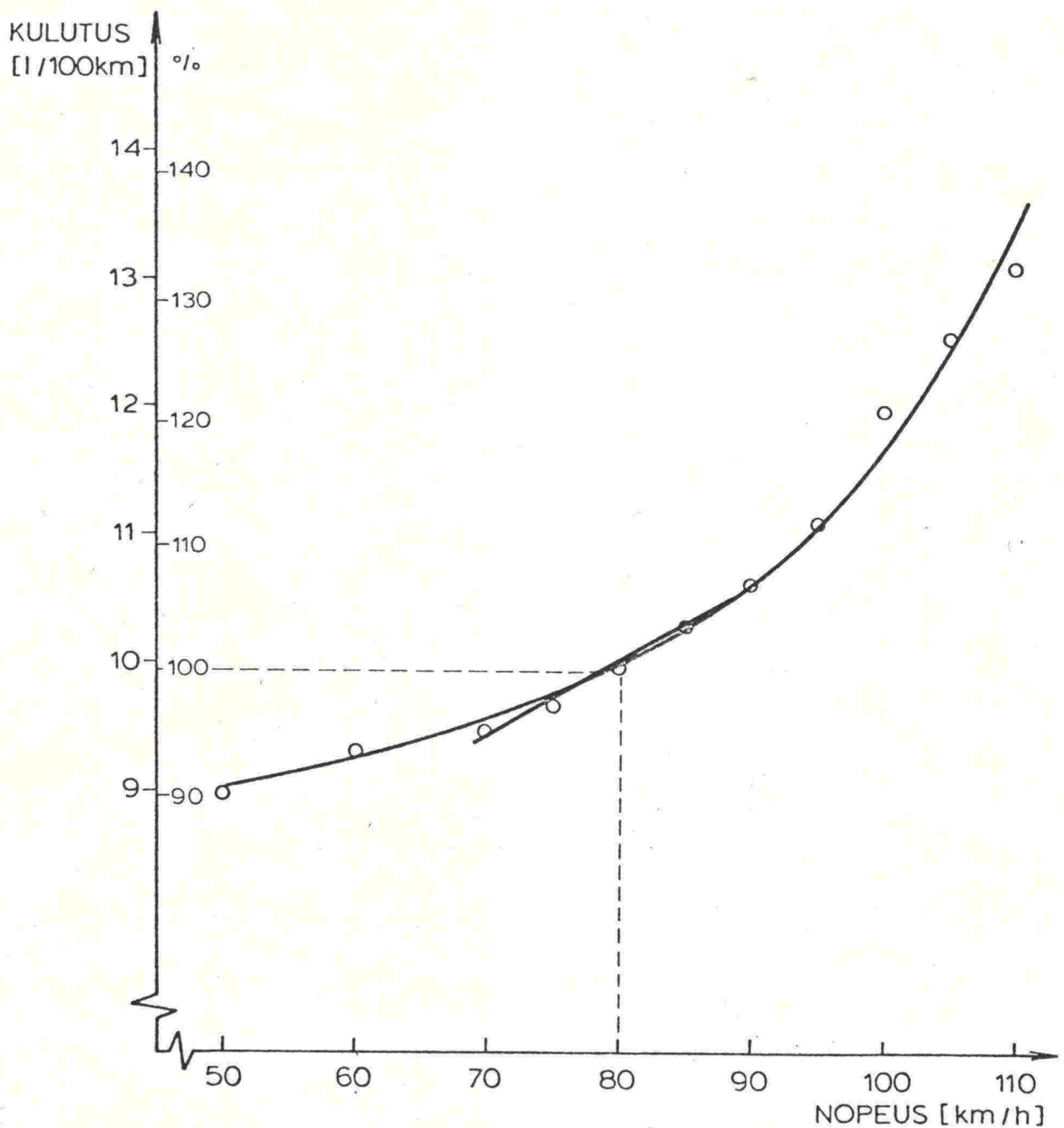
tuuli 0.0 m/s



Kuva 2 Polttoaineenkulutuksen riippuvuus
nopeudesta jääpolanteella

Järvitalonjärven varalaskupaikka 4.2.1980
-12°C, 994 mb, tuuli 0.0 m/s
suurimmalla vaihteella

o havainnot



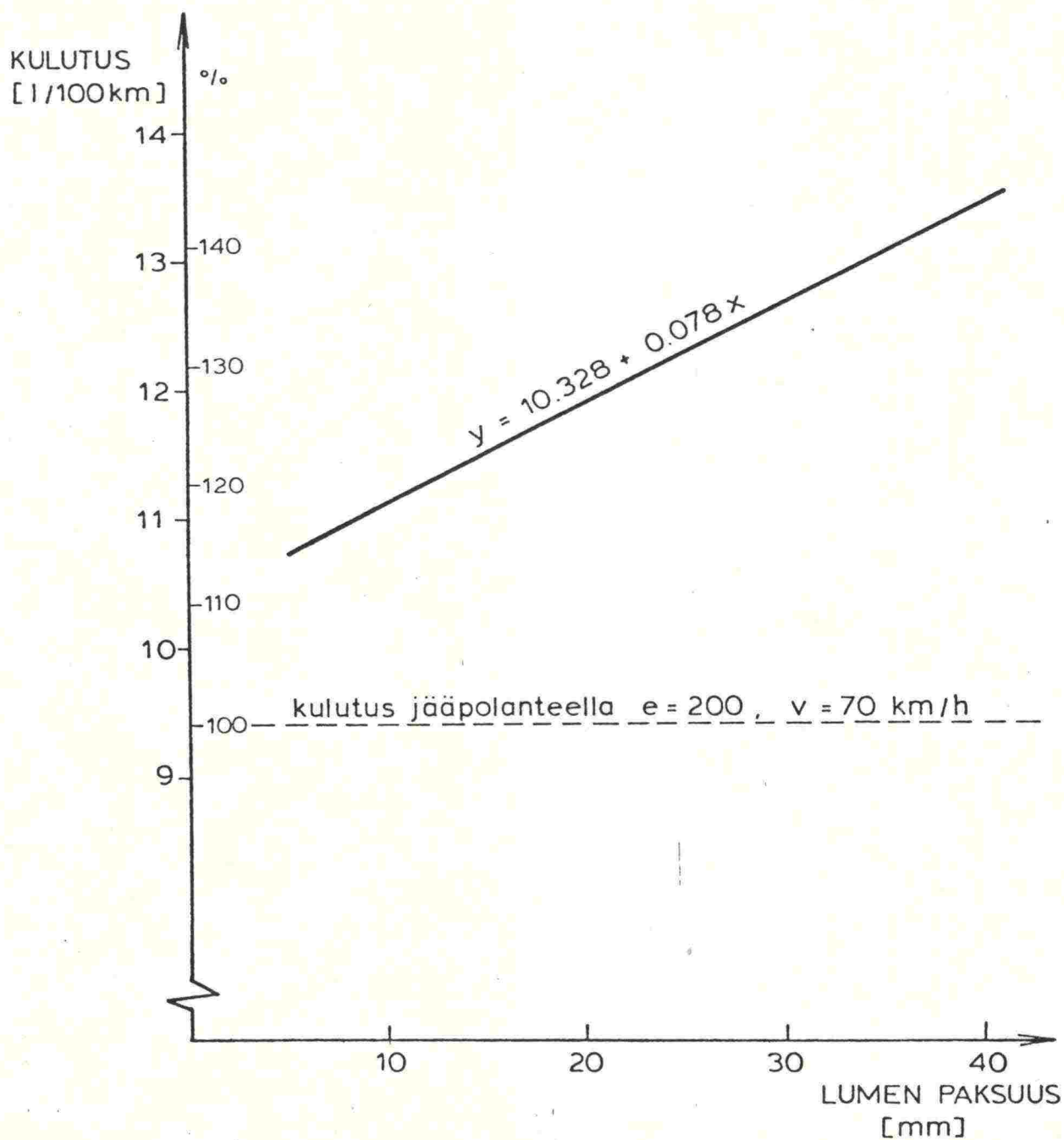
Kuva 3 Polttoaineenkulutuksen riipuvuus
irtolumen paksuudesta

Mt 833 ja Mt 848 15.2.1980

-2°C, 997 mb, lumen tiheys 150 g/dm³

Ajonopeus 70 km/h

Havaintoja 32, $R^2 = 0.434$



KUVA 4 IRTOLUMEN JA NOPEUDEN VAIKUTUS KULUTUKSEEN

$$v = 70 \text{ km/h} \quad y = 0.00132 x_1^2 + 0.0118 x_2 + 9.151 \quad n = 29 \quad R^2 = 0.942$$

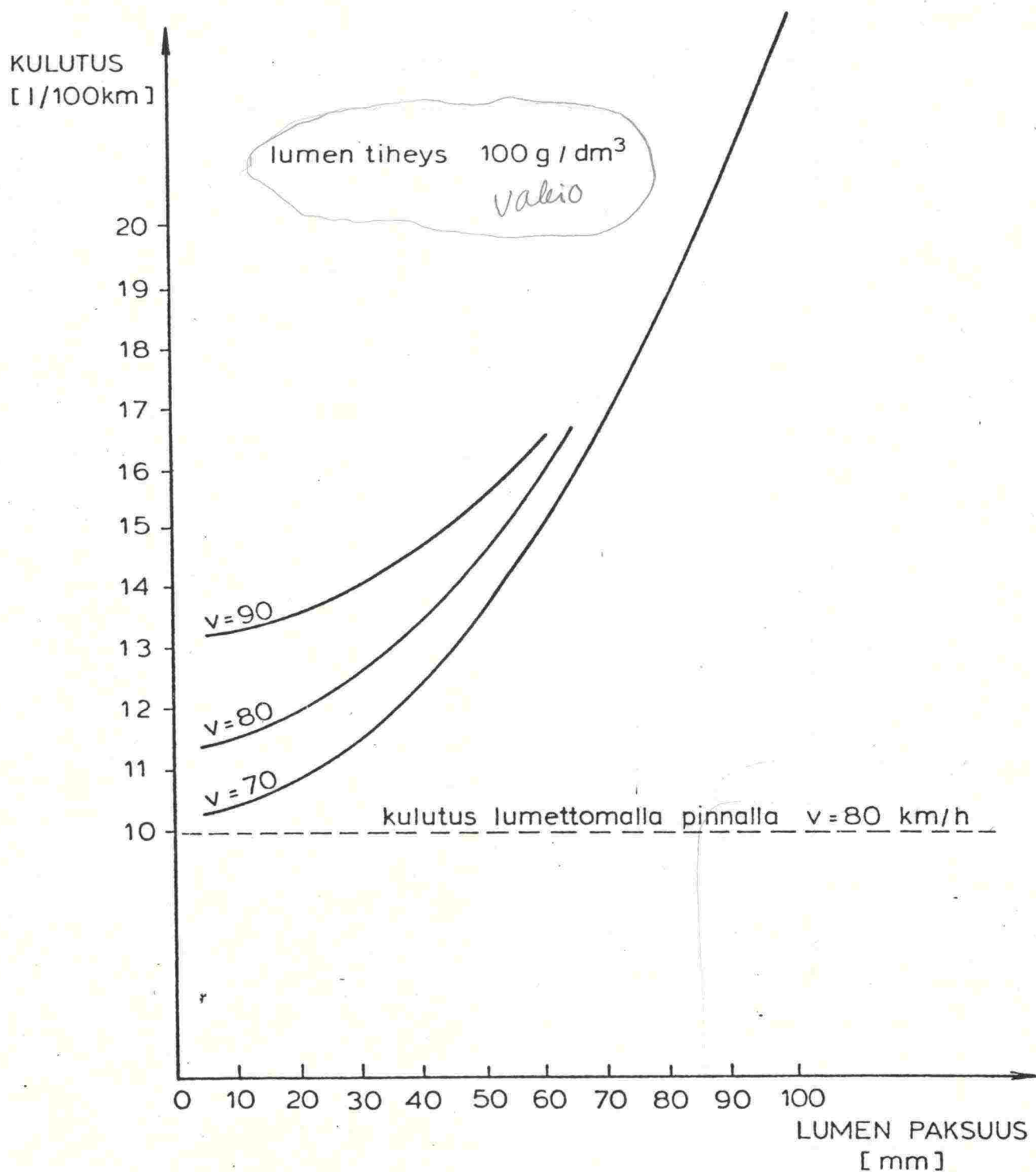
$$v = 80 \text{ km/h} \quad y = 0.00125 x_1^2 + 0.0187 x_2 + 9.556 \quad n = 27 \quad R^2 = 0.910$$

$$v = 90 \text{ km/h} \quad y = 0.00092 x_1^2 + 0.0286 x_2 + 10.313 \quad n = 16 \quad R^2 = 0.911$$

y = kulutus , l / 100 km

x_1 = lumen paksuus , mm

x_2 = lumen tiheys , g / dm³



Kuva 5 Polttoaineenkulutuksen riippuvuus lumen tiheydestä ja ajokertojen lukumäärästä

Muuttuja	Yksikkö	Regressio kerroin	T-arvo	Standardoitu regr. kerroin	Korrelaatio kerroin	Stand. kerroin x korr. kerroin	Edell. pros. ja-kauma
Polttoaineenkulutus	$\frac{l}{100km}$						
Lumen tiheys	$\frac{g}{dm^3}$	0.026	xxx 6.08	0.537	0.553	0.279	49
Log(ajokerta)		-2.750	xxx -6.01	-0.531	-0.547	0.290	51
Vakiotermi		12.786					
					R^2	0.569	100
F-arvo		xxx 37.68		Havaintojen lukumäärä			56

lumen paksuus 50 mm
lumen tiheys 100 g/dm³
ajonopeus 80 km/h

